

Aus der Medizinischen Klinik der Universität Erlangen

Röntgen-Abteilung

Direktor: Prof. Dr. med. Norbert Henning

Über Messungen heterogener Strahlungen
nach der Filmschwärzungsmethode
unter besonderer Berücksichtigung der Messung
von radioaktiven Strahlungen.

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät der
Friedrich-Alexander-Universität
zu
Erlangen

vorgelegt von
Gisela Fuchs aus Breslau
1956



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Medizinischen Klinik der Universität Erlangen
Röntgen - Abteilung
Direktor: Prof. Dr. med. N. Henning

"Über Messungen heterogener Strahlungen nach der
Filmschwärzungsmethode unter besonderer Berücksichtigung der Messung von radioaktiven Strahlungen."

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
zu Erlangen

vorgelegt von
Gisela F u c h s
aus Breslau

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen



Dekan: Professor Dr. C. Korth
Referent: Professor Dr. N. Henning
Tag der mündlichen Prüfung: 2. Juni 1956

Inhaltsverzeichnis

Seite

I. Einleitung

- | | |
|--|---|
| 1. Allgemeines über die Filmschwärzungsmethode | 3 |
| 2. Zweck der vorliegenden Arbeit | 4 |

II. Experimenteller Teil

- | | |
|---|----|
| A. Verwendete Geräte und Apparaturen | 5 |
| B. Versuchsbedingungen | 7 |
| C. Versuche | 8 |
| 1. Bestrahlung von Filmen mit homogenen Strahlen | 8 |
| 2. Bestrahlung von Filmen mit heterogenen Strahlen | 12 |
| 3. Eichung einiger Dosismeßgeräte | 18 |
| 4. Bestimmung der Halbwertschichten von Radium | 23 |
| a. Halbwertschichten bei verschiedenen Filterungen | 23 |
| b. Schwächungskurve | 24 |
| 5. Dosisleistung des Radiumpräparates bei kleinen Filterungen | 26 |
| 6. Bestrahlung von Filmen mit radioaktiven Isotopen | 28 |

III. Zusammenfassung

30

IV. Schrifttumsverzeichnis

32

1. Einleitung

1. Allgemeines über die Filmschwärzungsmethode.

In Betrieben, in denen mit ionisierenden Strahlen gearbeitet wird, werden zur Strahlenschutzüberwachung im wesentlichen zwei Meßmethoden verwendet. Die Messung hierfür erfolgt meist mittels Kondensatorkammern oder nach der Filmschwärzungsmethode. Bei Verwendung von Kondensatorkammern ist jedoch sehr mit individuellen Ablesefehlern zu rechnen. Auch sind die Anschaffungskosten für solche Instrumente nicht ganz niedrig, und sie bedürfen eines geschulten Personals, um eine einwandfreie Bedienung zu gewährleisten. Die Filmschwärzungsmethode ist dagegen weit billiger, das hierzu verwendete Instrument ist einfach in der Handhabung und braucht vom Träger nicht besonders bedient zu werden. Ferner ist die Dosis auf dem Film für eventuelle Regreßansprüche dokumentarisch festgelegt. Schließlich kann man mit der Filmschwärzungsmethode außer der Dosis auch die Qualität der Strahlung ermitteln. Die Kenntnis der Strahlenqualität ist in sofern wichtig, als dadurch erst eine genaue Auswertung möglich ist. Die durch die Wellenlängenabhängigkeit des Dosismeißinstrumentes bedingten Fehler können gleichzeitig mitberücksichtigt werden. Außerdem kann der Überwachte feststellen, bei welchen Arbeiten er vor allem gefährdet ist, bzw. wo zusätzliche Schutzmaßnahmen erforderlich sind.

Die Filme liegen zweckmäßigerweise in einer Kunststoffkassette, welche mit einer Sicherheitsnadel versehen, leicht an der Kleidung befestigt werden kann. Zur Feststellung der Qualität der Strahlung ist die sog.

"Filtermethode" eingeführt worden. Dabei wird der Film teils direkt, teils unter Vorschaltung gewisser Filter der Strahlung ausgesetzt. Hierfür hat sich einerseits die Filterkombination von 0,15 mm Al, 1,5 mm Cu und 0,5 mm Pb, andererseits die Kombination von verschiedenen starken Cu-Filtern als brauchbar erwiesen. Hat auf den Film eine sehr weiche Strahlung eingewirkt, so ist schon das Feld hinter dem Al-Filter weniger geschwärzt als jenes Feld, welches mit ungefilterter Strahlung belichtet wurde, die Felder hinter dem Cu- und Pb-Filter zeigen entsprechend geringere Schwärzungen. Bei mittelharten Strahlen ist auch das Cu-Feld, bei sehr harten Strahlen außerdem das Pb-Feld geschwärzt.

Silberemulsionen photographischer Filme zeigen bekanntlich eine große Wellenlängenabhängigkeit, d.h. die Schwärzung ist bei Exponierung mit gleichen Dosen um 70 kV am größten, bei anderen Strahlenqualitäten dagegen kleiner. Zur genauen Analyse der Dosis sowie der Strahlenqualität ist es notwendig, die Schwärzungen des Filmes nach dem Entwickeln mit einem photoelektrischen Schwärzungsmesser zu bestimmen.

Einzelheiten solcher Filmauswertungen werden in den folgenden Abschnitten noch eingehend beschrieben.

2. Zweck der vorliegenden Arbeit.

Bei Strahlenschutzmessungen ist die Auswertung von Filmen, die mit homogenen Strahlen belichtet wurden, relativ einfach. Sie ergibt eine genügende Genauigkeit. Die Auswertung von Filmen, die mit verschiedenen harten Strahlenanteilen belichtet wurden, bietet aber weitaus größere Schwierigkeiten, die in den folgenden Versuchen dargestellt werden sollen.

Dabei wurden nicht nur Filmkassetten mit der Filterkombination Al, Cu und Pb, sondern auch solche mit verschiedenen starken Cu-Filtern einer homogenen, bzw. heterogenen Strahlung ausgesetzt.

Auf Grund der großen Empfindlichkeitsunterschiede photographischer Schichten für ionisierende Strahlen, erschien es angebracht, zwei Emulsionstypen bei den Versuchen zu verwenden, deren Empfindlichkeitsverhältnis 1 : 10 beträgt. Die weniger empfindliche Emulsion soll für Röntgenstrahlen unter 300 kV, die hochempfindliche dagegen für härtere, insbesondere für radioaktive Strahlungen, geeignete Gradation aufweisen.

Bei Strahlenschutzmessungen zeigten sich oft starke Unterschiede zwischen den von der Strahlenschutzüberwachungsstelle angegebenen und jenen, von den Überwachten selbst errechneten oder mit anderen Meßmitteln (Kondensatorkammern) gemessenen Werten. Um diesen Meßdifferenzen begegnen zu können, war es erforderlich, einige solcher Instrumente auf ihre Genauigkeit zu untersuchen.

II. Experimenteller Teil

A. Verwendete Geräte und Apparaturen:

1. Filme:

ADOX - "Dosisfilm"

ADOX - "Radiumfilm" (etwa 10 mal empfindlicher als ADOX - "Dosisfilm").

2. Kassetten:

Kassetten mit einem Leerfeld, einem 0,15 mm Al, einem 1,5 mm Cu- und einem 0,5 mm Pb-Filter.

Kassetten mit einem Leerfeld, einem 0,05 mm, einem 0,5 mm und einem 1,2 mm starken Cu-Filter.

3. Fotoelektrischer Schwärzungsmesser:

(Fa. Lange, Berlin).

4. Dosimeter:

Siemens - Universal dosimeter ,
das sowohl Dosisleistungen von 0 - 65 r/min, als
auch integrierend von 0 - 800 r anzeigt.

Meßkammern:

Für Strahlungen bis 70 kV:

Topfkammer

Für Strahlungen von 120 - 200 kV:

Fingerhutkammer

Für radioaktive β -Strahlungen:

Phantomkammer

Siemens - Jontodor

mit Becherkammer, welches Dosen von 0,1 bis 1,2 r
anzeigt.

C. K. - Dosimeter

(Fa. A. Kershaw & Söhne, Harwell)

FH 40 H (Radiameter)

(Fa. Friesecke und Höpfner, Erlangen), das sowohl
Dosisleistungen in r/h als auch in mr/h anzeigt.

5. Strahlungsquellen:

Die Versuche erforderten das Vorhandensein verschiedener Strahlenqualitäten, somit auch verschiedener Strahlungsquellen für weiche, mittelharte, harte und ultraharte Strahlen. Dabei wurden auch einige radioaktive Isotope verwendet:

Für Strahlungen von 20 - 40 kV:

Siemens - "Dermopanröhre"

für Strahlungen von 70 - 200 kV:

Siemens - "Stabilivolt", der mit Ölhaubenröhre
Typ TH 220 F EW 220 ög ausgestattet ist

für Strahlungen von ca 1 MeV:

10 mg Radiumpräparat, das in einem "Monell-
röhrchen" eingeschlossen war

ebenfalls für harte Strahlungen:

ungefiltertes Kobalt - Co_{60} - Präparat (480 mC)

für ultraharte Strahlungen:

Siemens-Elektronenschleuder, welche eine Energie von 15 MeV liefert.

als Strahlungsquelle für β -Strahlen:

Strontium - Sr_{90} - Präparat (15 mC)

als Mischstrahler von β - und γ -Strahlen:

Zäsium - Cs_{134} -Präparat (10 mC, mit 0,2 mm
Nickel vorgefiltert).

B. Versuchsbedingungen:

Die Versuche mit Röntgenstrahlen erfolgten alle bei "Normalstrahlung" (Wachsmann).

Die Kassetten wurden jeweils mit verschiedenen Dosen mit Röntgen- und γ -Strahlen verschiedener Spannungen

belichtet. Um Streustrahlen auszuschalten, erfolgte die Bestrahlung stets frei Luft. Alle belichteten Filme wurden gleichzeitig und unter den gleichen Bedingungen entwickelt. Dabei entsprach die Entwicklungskonzentration der Fabrikanweisung, die Entwicklungszeit betrug 6 min und die Temperatur 18° C.

Folgende Kassetten wurden belichtet:

- a. Kassette mit Al-, Cu-, Pb-Filtern + "Dosisfilm"
- b. Kassette mit Al-, Cu-, Pb-Filtern + "Radiumfilm"
- c. Kassette mit Cu-Filtern + "Dosisfilm"
- d. Kassette mit Cu-Filtern + "Radiumfilm"

C. Versuche:

1. Bestrahlung von Filmen mit homogenen Strahlen:

Zweck dieser Versuchsreihe:

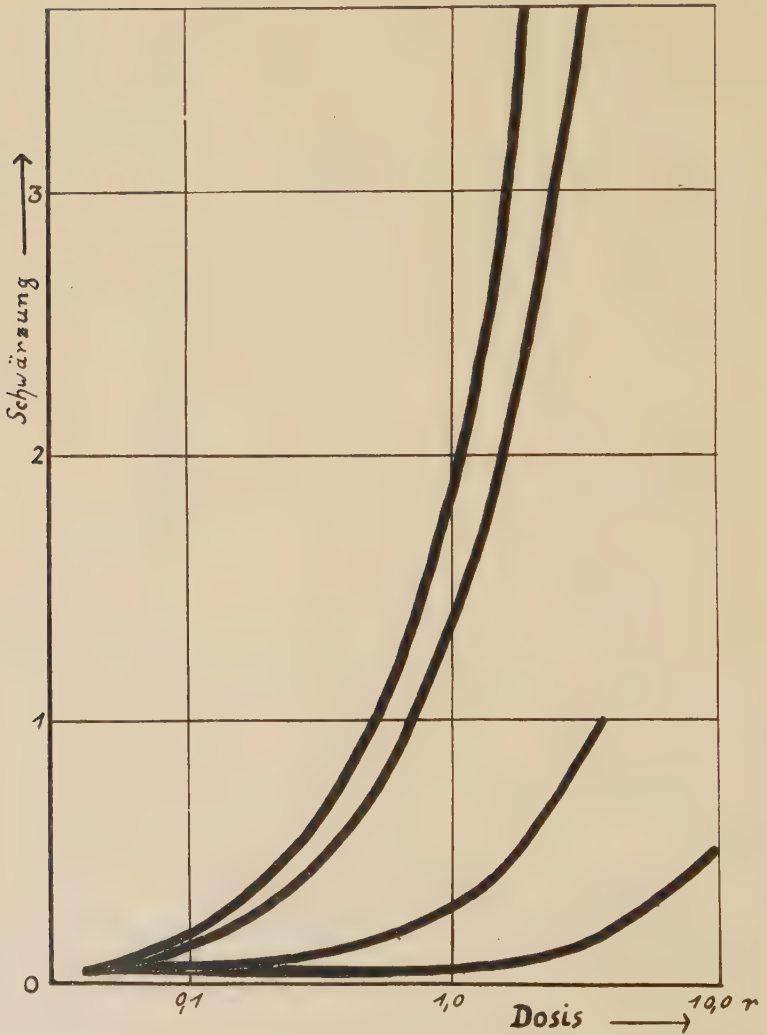
- a. Ermittlung der Brauchbarkeit zwei verschiedener Filmsorten (ADOX-"Dosisfilm" und ADOX-"Radiumfilm")
- b. Vergleich der Filterkombinationen 0,15 mm Al, 1,5 mm Cu, 0,5 mm Pb und 0,05 mm, 0,5 mm, 1,2 mm Cu.

Bestimmung der Gradationskurven:

In doppelt logarithmischem Maßstabe dargestellt, gaben in Abb. I die Werte der Abszisse die Dosen in r an, die der Ordinate die Schwärzungen. Für jede Strahlenqualität waren jeweils vier Kurven notwendig (für Leer-, Al-, Cu- und Pb-Feld, bzw. für die verschiedenen Cu-Felder).

Bei Betrachtung einzelner Kurven fällt auf, daß bei weichen Strahlungen nur die Leerfeldkurve steil, alle anderen aber flacher verlaufen. Bei härteren

Abb. I. Gradations-Kurve bei 70kV (Normalstrahlung)
ADOX - Dosisfilm.

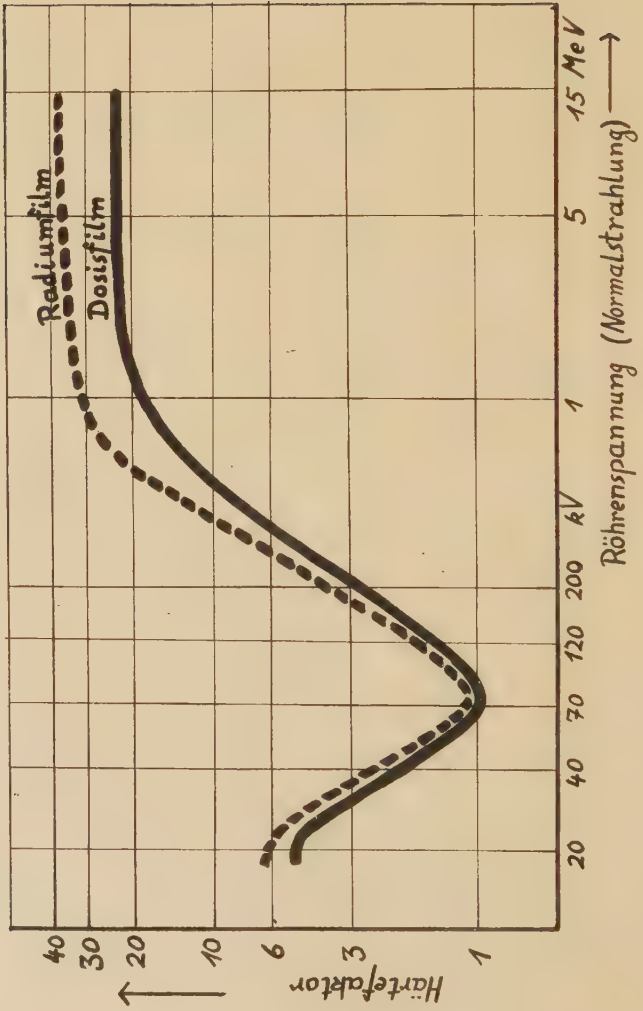


Strahlungen nähert sich die Al- bzw. die 0,05 mm Cu-Kurve der Leerfeldkurve, bei noch härteren Strahlungen nähert sich auch die Cu- bzw. die 0,5 mm Cu-Kurve der Leerfeldkurve und bei ganz harten Strahlungen liegen alle vier Kurven aufeinander. Das heißt also, daß die verschiedenen Filter weiche Strahlungen mehr oder weniger stark absorbieren, harte Strahlungen dagegen ohne weiteres passieren lassen. Bei ultraharten Strahlungen über 1 MeV erfolgt durch Sekundärelektronenbildung eine Umkehrung der Filterwirkung, d.h. die Kurven der Filterfelder zeigen mit zunehmender Dicke bzw. Strahlensorptionsfähigkeit der Filter stärkere Schwärzungen an.

Bestimmung der Härtefaktoren:

Aus den Dosisationskurven lassen sich für jede der beiden Filmsorten die Härtefaktoren errechnen. Dazu ermittelt man bei einer bestimmten Schwärzung in den verschiedenen Leerfeldkurven die dazugehörigen Dosen. Die Härtefaktoren können nun dadurch bestimmt werden, daß der bei 70 kV gemessene Dosiswert durch die Dosen bei den übrigen Strahlenqualitäten dividiert wird. So ergibt sich bei 70 kV (maximale Schwärzung) ein Härtefaktor von 1. Die übrigen Härtefaktoren geben an, wieviel mal mehr Dosis notwendig ist, um bei anderen Strahlenqualitäten die gleichen Schwärzungen zu erzielen. In Abb. 11 sind die γ -Härtefaktoren für Dosisfilme und für Radiumfilme graphisch dargestellt. Der Radiumfilm zeigt dabei eine etwas größere Wellenlängenabhängigkeit gegenüber dem Dosisfilm. Die Härtefaktorkurve des Radiumfilmes verläuft zwischen 70 und 600 kV steiler als die des Dosisfilmes ,

Abb II. Härtefaktoren
beim Dosifilm und Radiumfilm.



wodurch ein ziemlich flacher Verlauf jenseits dieser Wellenlänge bis 15 MeV erreicht wird.

Bildung der Dosisverhältnisse:

Zur Ermittlung der Dosisverhältniskurven vergleicht man die scheinbaren Dosen auf den einzelnen Filterfeldern mit der scheinbaren Dosis auf dem Leerfeld. Bei der Auswertung von Filmen geht man folgendermaßen vor: Man ermittelt zunächst die scheinbare Dosis, indem man die im Leerfeld gemessene Schwärzung auf die Leerfeldkurve bei 70 kV bezieht.

Danach bildet man die Dosisverhältnisse, mit welchen aus den Dosisverhältniskurven die Härtefaktoren und auch die Qualität der vom Film registrierten Strahlung abgelesen werden können. (Langendorf, Spiegler, Wachsmann). ⁽¹⁾

Die Auswertung der Filme beider Kassettentypen zeigte im wesentlichen gleiche Ergebnisse. Der mittlere Fehler betrug $\pm 10\%$.

2. Bestrahlung von Filmen mit heterogenen Strahlen:

Wie schon erwähnt, können Filme, die mit homogenen Strahlen belichtet wurden, mit genügender Genauigkeit analysiert werden.

Da aber strahlenschutzüberwachte Personen oft auch mit unterschiedlichen Strahlungen zugleich arbeiten, entsteht die Forderung, Qualität sowie Dosen dieser heterogenen Strahlen ebenfalls hinreichend zu ermitteln.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde deshalb geprüft, welche der beiden Kassettentypen zur Auswertung heterogener Strahlungsgemische am besten

geeignet ist.

Orbei wurden Filme mit harten und weichen Strahlen gleichzeitig belichtet:

- a. 50 μ 70 kV + 50 μ 200 kV
- b. 50 μ 70 kV + 50 μ Co₆₀
- c. 10 μ 70 kV + 90 μ 200 kV
- d. 10 μ 70 kV + 90 μ Co₆₀
- e. 10 μ 200 kV + 90 μ 70 kV
- f. 10 μ Co₆₀ + 90 μ 70 kV

So bestrahlte Filme zeigen große Schwärzungsunterschiede nicht nur zwischen zwei, sondern auch zwischen mehreren Filterfeldern.

Zur Ermittlung der Dosisverhältniskurven werden hierbei nicht nur die Filterfelder mit dem Leerfeld verglichen, sondern auch die einzelnen Filterfelder untereinander (Abb. III und IV).

Bei der Auswertung solcher Filme der Al-Su-Ib-Kassetten können durch Gegenüberstellung der scheinbaren Dosen auf den einzelnen Filterfeldern Rückschlüsse auf die mittlere Qualität der verabreichten Strahlung gezogen werden. Es ist jedoch nicht möglich, eine genaue Aufgliederung in die einzelnen Strahlenteile zu erzielen, was aber zur exakten Bestimmung der Gesamtdosis unerlässlich ist.

Hinreichende Möglichkeiten hierfür bietet dagegen die von D r e s e l ⁽²⁾ angegebene Modifikation der Auswertung. Sie hat aber zur Voraussetzung, daß Kassetten mit gleichartigem Filtermaterial verwendet werden.

Abb. III. Dosisverhältnisse
beim
Dosisfilm.

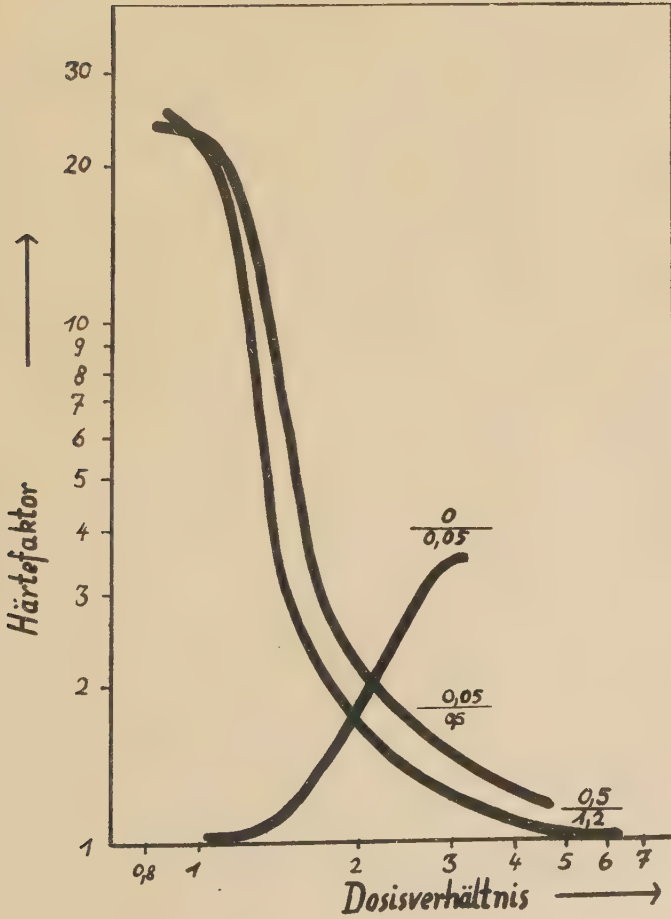
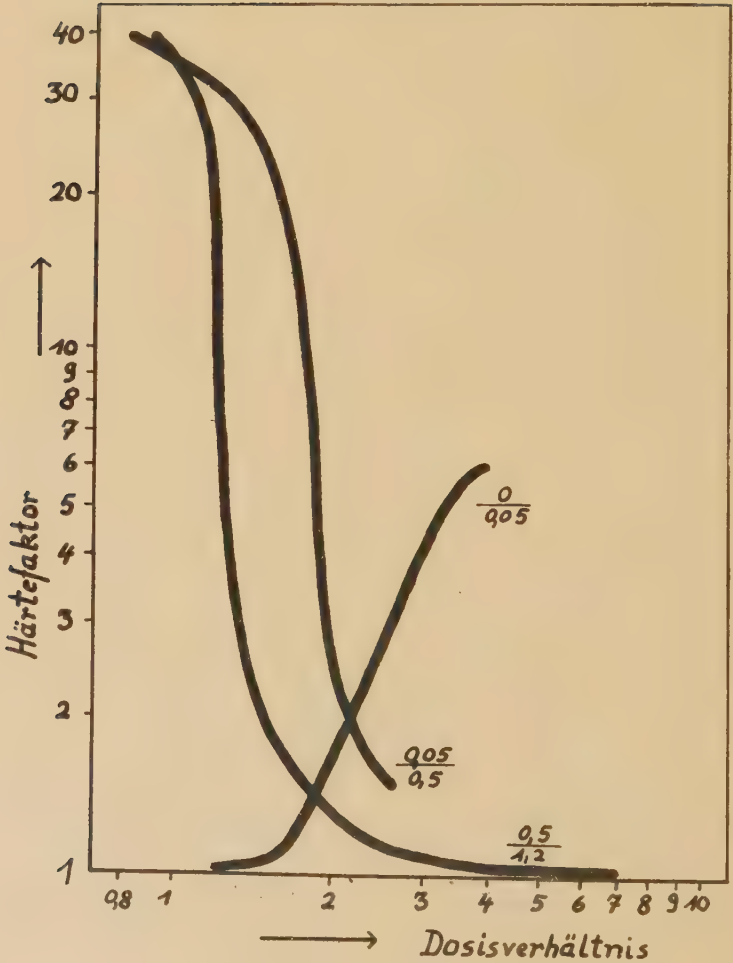


Abb. IV: Dosisverhältnisse
beim
Radiumfilm.



Eine solche Auswertung wird im folgenden kurz dargestellt:

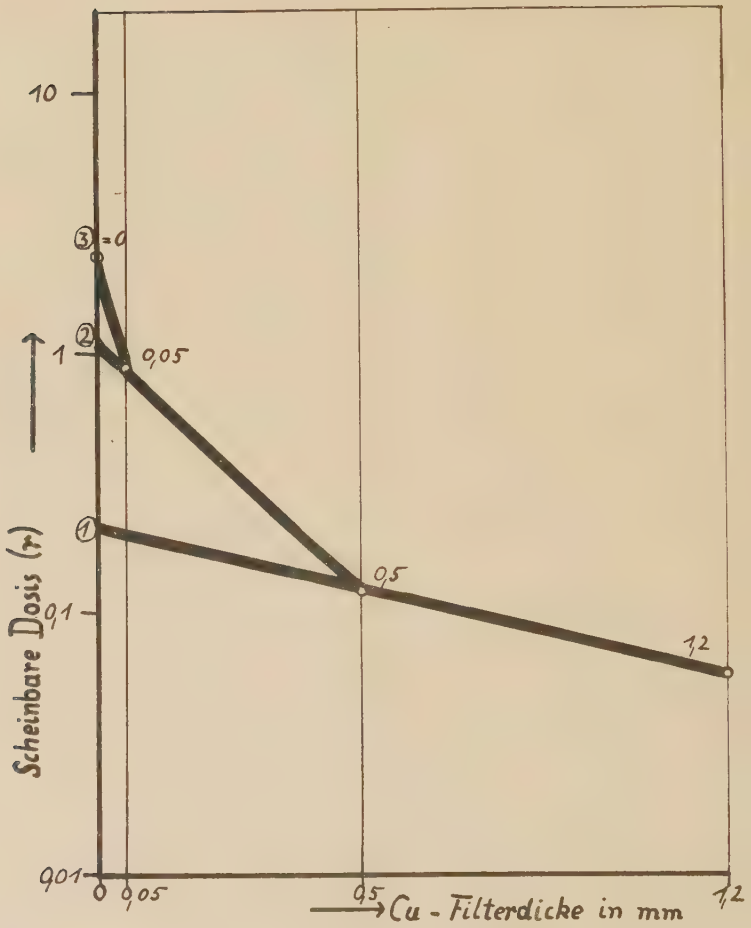
Auf einfach-logarithmischem Papier werden die scheinbaren Dosen in die entsprechenden Filterlinien eingetragen (Abb. V). Durch lineare Extrapolation der Punkte auf der 0,5 mm und der 1,2 mm Cu-Linie wird die scheinbare Dosis des härtesten Strahlenanteils (1) ermittelt und mit dem dazugehörigen Härtefaktor multipliziert. Dadurch wird der wirkliche Dosiswert hierfür errechnet. Analog wird mit den anderen Meßpunkten verfahren: Man extrapoliert die mittelharten Strahlenanteile (2) aus den Punkten auf der 0,05 mm und der 0,5 mm Cu-Linie, von welchen der oben erhaltene härteste Strahlenanteil subtrahiert wird. So erhält man die mittelharten Anteile. Ebenso erfolgt die Bestimmung des weichen Strahlenanteils. Die so erhaltenen scheinbaren Dosen werden jeweils mit dem dazugehörigen Härtefaktor multipliziert und anschließend addiert.

Insgesamt wurden bei dieser Versuchsreihe 288 Filme beider Kassettentypen mit den oben genannten Strahlungsgemischen bestrahlt.

Den durchgeführten Versuchen ist zu entnehmen, daß die Auswertungsergebnisse der Filme in den Cu-Kassetten eine größere Genauigkeit gegenüber den Filmen in den Al-Cu-Ib-Kassetten erreichen.

Da sich die Absorptionsverhältnisse von Filtern bekanntlich mit der Strahlungsenergie ändern, ist ein Vergleich zwei verschiedener Filterfelder nur dann möglich, wenn die Absorptionseigenschaften relativ zueinander von der Energie der einfallenden

Abb. V. Extrapolationsbeispiel.



Strahlung unabhängig sind, d. h. die verschiedenen Filter müssen die gleichen Absorptionsverhältnisse aufweisen. Dies trifft bei der Filterkombination Al-Cu-Pb nicht zu, da nur Filter aus ein und demselben Material gleiche Absorptionsverhältnisse aufweisen. Dadurch wird in diesen Kassetten hinter dem Pb-Feld eine härtere Strahlung vorgetauscht, wodurch wiederum ein scheinbar größerer Härtefaktor und damit auch eine höhere Dosis ermittelt wird. Andererseits können aber auch kleinere Dosen vorgetauscht werden (D r e s e l) (3). Die Filterkombination Al-Cu-Pb ist demnach für die Analyse heterogener Strahlungen ungeeignet.

3. Eichung einiger Dosismessgeräte:

Wie eingangs schon erwähnt, zeigten sich bei Strahlenschutzmessungen oft starke Abweichungen zwischen den von der Strahlenschutzüberwachungsstelle angegebenen und jenen von den Überwachten selbst errechneten oder mit anderen Meßmitteln gemessenen Werten. Da für diese Zwecke meist Kondensatorkammern in Verwendung sind, wurden ein Siemens-Jontodor mit Becherkammer und ein C.K.-Dosimeter der genauen Prüfung der Wellenlängenabhängigkeit unterzogen. Ein FH 40 H wurde ebenfalls mit verglichen. Zur grundsätzlichen Eichung dieser drei Instrumente wurden ein Siemens-Universaldosimeter und ein Hammerdosimeter benutzt. Diese beiden Instrumente sind als besonders zuverlässig bekannt und zeigten bei Vergleichsmessungen nur sehr geringe Unterschiede in der Dosisanzeige.

Alle Messungen hierfür wurden zur Erzielung größerer Genauigkeit mehrfach durchgeführt und anschließend gemittelt.

Die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Faktoren geben die Zahl an, mit der die Dosisanzeige des jeweiligen Instrumentes multipliziert werden muß, um die des Universaldosimeters zu erhalten.

Faktoren des Siemens-Jontodor, des C. K. - Dosimeters und des FH 40 H - bezogen auf Siemens - Universaldosimeter.

Spannung	Siemens-	C.K.-	FH 40 H
	Jontodor	Dosimeter	
30 kV	1,2	4,2	1,15
40 kV	1,1	2,6	0,98
50 kV	0,9	2,1	0,84
70 kV	0,67	0,9	0,7
120 kV	0,69	0,8	0,58
200 kV	0,7	1,1	0,62
1 MeV	0,96	1,3	1,5
2,6 MeV	0,89		0,75

Die wahren Dosen für 1 und 2,6 MeV wurden errechnet.

Für die Messungen bei 1-MeV stand ein Radiumpräparat von 9,79 mg, das in einem 0,2 mm Monellröhrchen eingeschlossen war, zur Verfügung. Durch diese schwache Filterung wurden die weichen β -Strahlen abgefiltert, die härteren aber und die γ -Strahlen kamen voll zur Wirkung.

Nach F r i e d r i c h und S c h u l z e beträgt die Dosis, die von 1 mg Ra bei einer Filterung von 0,5 mm Pt bei 1 cm Abstand geliefert wird 7,8 r/h. Das ergibt für 9,79 mg eine Dosisleistung von 76,3 r/h. Das sind bei 10 cm Abstand nach dem Quadratgesetz 0,76 r/h.

Die Messungen des ungefilterten Präparates ergaben bei 10 cm Abstand folgende Werte:

Jontodor:	7,6 r/h
C.K.-Dosimeter:	3,0 r/h
FH 40 H:	2,7 r/h (β -Blende)
	0,7 r/h (γ -Blende)

Die Messungen des mit 1,0 mm Pb gefilterten Präparates ergaben folgende Werte:

Jontodor:	0,78 r/h
C.K.-Dosimeter:	0,56 r/h
FH 40 H:	0,5 r/h (β -Blende)
	0,5 r/h (γ -Blende)

Die Meßwerte bei der Filterung von 1,0 mm Pb entsprechen etwa den von F r i e d r i c h und S c h u l z e angegebenen. Auch nach M i n d e r ⁽⁴⁾ entspricht eine 0,5 mm Pt-Filterung etwa einer 1,0 mm Pb-Filterung. Nach diesen Werten wurden die Faktoren der Instrumente berechnet.

Auf Grund dieser Vergleichsmessungen ist anzunehmen, daß die anfangs erwähnten Unterschiede der Werte, welche die Strahlenschutzüberwachungsstelle angab und

denen, welche die Überwachten selbst errechnet haben, darauf beruhen, daß schwachfilterte Präparate zur Verwendung kamen, aber von seiten der Überwachten mit Werten gerechnet wurde, die auf stärker gefilterte Präparate bezogen sind.

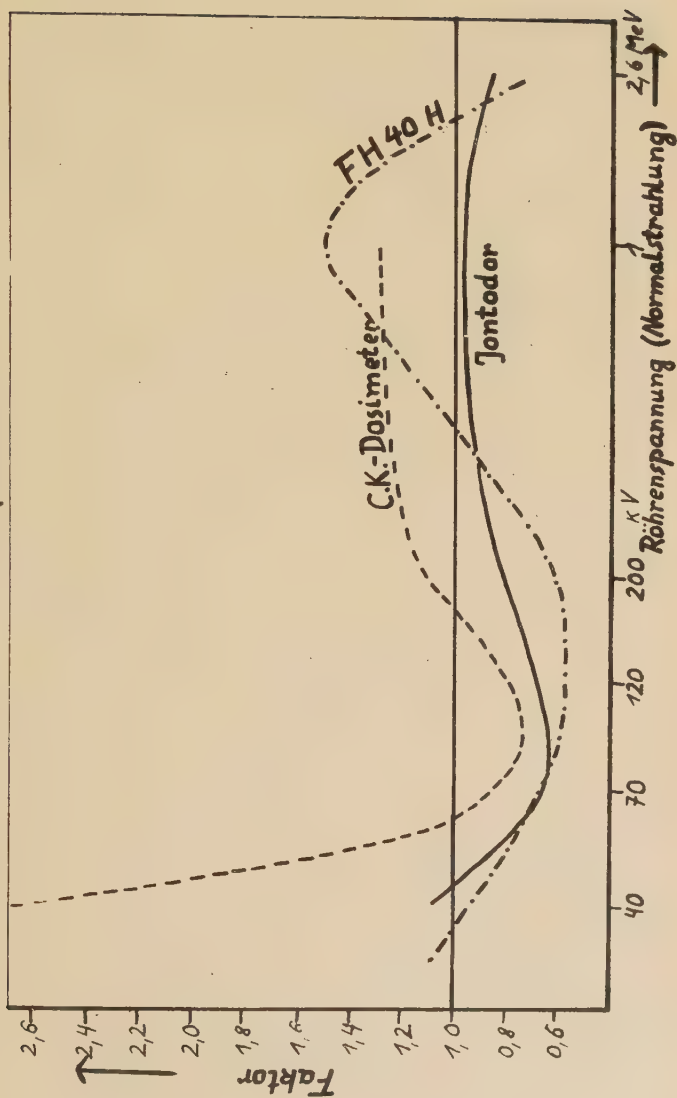
In Abb. VI sind die Faktoren der drei Instrumente graphisch dargestellt.

Dabei verläuft die Kurve des Siemens-Jontodors flach und weist keine steilen An- oder Abstiege auf. Der Kurve ist zu entnehmen, daß dieses Instrument für einen Meßbereich von 40 kV - 2,6 MeV verwendet werden kann. Der maximale Fehler des Instrumentes liegt zwischen 70 und 120 kV und beträgt 33%. Das Dosimeter gibt in diesem Bereich höhere Dosen an, als wirklich vorhanden, was für Strahlenschutzmessungen keinen Nachteil haben dürfte.

Die Eichkurve des C.K.-Dosimeters fällt zwischen 40 und 70 kV steil ab, um bei 120 kV wieder anzusteigen. Das Dosimeter ist somit für Röhrenspannungen unter 70 kV ungeeignet, da nach den durchgeführten Messungen bei 50 kV Fehler von mehr als 100% vorhanden sind. Da das C.K.-Dosimeter zu Strahlenschutzmessungen dient, wäre ein flacherer Verlauf der Eichkurve angebracht, um größere Ablesefehler zu vermeiden. Das Dosimeter zeigt bei Spannungen unter 70 kV und über 200 kV Dosen an, die kleiner sind, als die wahren. Daraus erklärt sich, daß strahlenschutzüberwachte Personen mit diesen Dosimetern oft kleinere Dosen abgelesen haben, als die Strahlenschutzüberwachungsstelle angab.

Die Kurve des FH 40 H verläuft in ihrem Anfangsteil bis etwa 200 kV ähnlich der Jontödoreichkurve, steigt dann aber stark an, um bei 1 MeV wieder abzufallen. Da das FH 40 H kein Instrument zur absoluten Dosisbestimmung darstellen, vielmehr auf einfache und schnelle

Abb. VI. Eichkurven für Jontodor, CK-Dosimeter
und FH 40H



Art feststellen soll, ob in einem Raum radioaktive Strahlung vorhanden ist, ist eine genaue Dosisanzeige kaum erforderlich. Der maximale Fehler des Instrumentes lag bei diesen Messungen bei 1 MeV und betrug 50%.

4. Bestimmung der Halbwertschichten von Radium:

In diesem Zusammenhange interessierte auch die Frage, welche Energie die Strahlenanteile des uns zur Verfügung stehenden Radiumpräparates besaßen und wie hoch der Prozentsatz der β - und γ -Strahlen war.

a. Halbwertschichten bei verschiedenen Filterungen.

Zur Ermittlung der Strahlungsenergie wurden die Halbwertschichten des ungefilterten, des mit 0,25 mm, 0,5 mm und 1,0 mm Pb gefilterten Präparates bestimmt. Auch hierbei wurde darauf geachtet, daß keine Streustrahlen auftraten. Als Dosimeter diente das Siemens-Jontodor mit Becquerkammer.

Die Versuchsanordnung bei den Messungen des ungefilterten Präparates war dabei folgende:

In einem Abstand von 10 cm wurden das Radiumpräparat und die Becquerkammer hängend angebracht, zwischen beide wurden dünne Al-Bleche geschoben.

Ebenso war die Anordnung bei den Messungen des vorgefilterten Präparates, nur wurde dieses jeweils mit dem entsprechenden Filter umgeben. Anstatt Al-Bleche wurden hierbei Cu-Bleche verwendet.

Halbwertschichten von Radium

Zusatzfilter

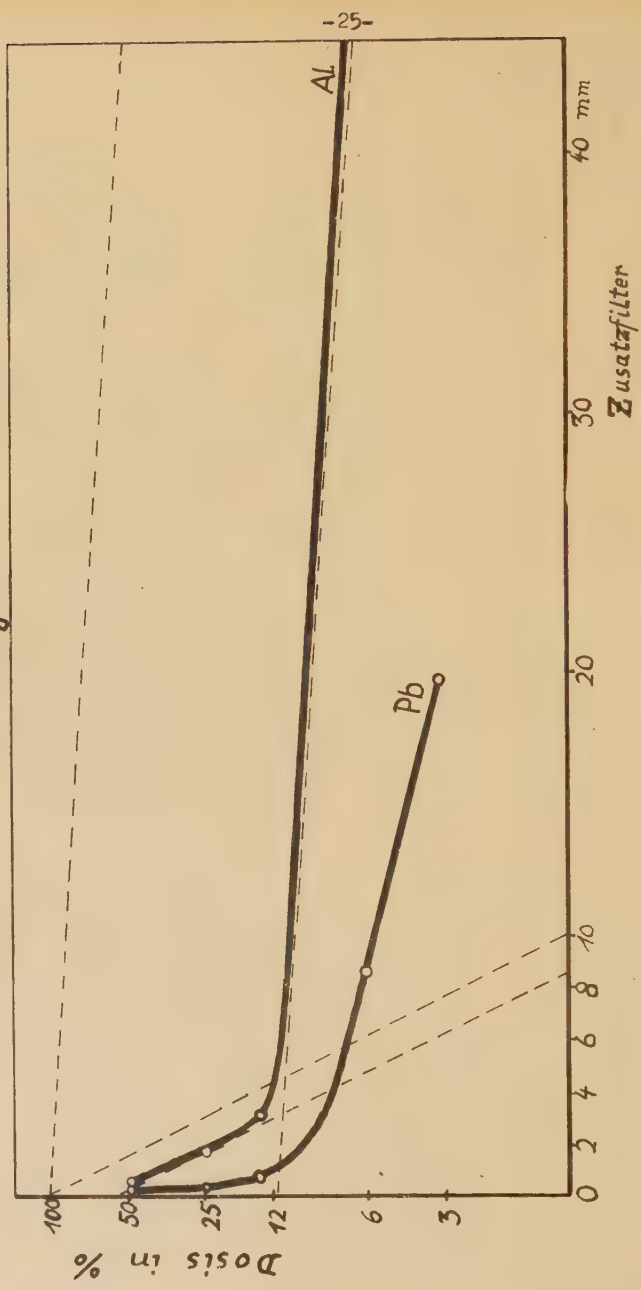
in mm Pb	0	0,25	0,5	1,0
HWS in mm	0,45 Al	6,8 Cu	0,9 Cu	20,8 Cu
Energie		500 kV	1 MeV	2,8 MeV
r/h	3,6	0,6	0,5	0,4
Faktor	9,2	1,5	1,2	1,0

Daraus geht hervor, daß nur 0,45 mm Al notwendig sind, um die Dosis von 7,2 r/h auf die Hälfte zu schwächen, d.h., daß das Radiumpräparat sehr weiche Strahlen aussendet. Durch die verschiedenen Vorfiltrierungen konnten die ebenfalls vorhandenen Spannungen von 500 kV, über 1 MeV bis zu 2,8 MeV ermittelt werden.

b. Schwächungskurve.

Für das gleiche Präparat wurden für Al die erste bis vierte, für Pb die erste bis fünfte Halbwertschicht gemessen und in sog. Schwächungskurven dargestellt. (Abb. VII). Beide Kurven fallen zwischen den ersten und dritten Halbwertschichten steil ab und verlaufen bis zur vierten bzw. fünften Halbwertschicht flach. Dies besagt, daß etwa 3 mm Al oder 0,8 mm Pb notwendig sind, um alle β -Anteile der Strahlung zu absorbieren. Durch Anlegen der Tangenten an die steil

Abb. VII. Schwächungskurven für Radium bei kleinen Filterungen.



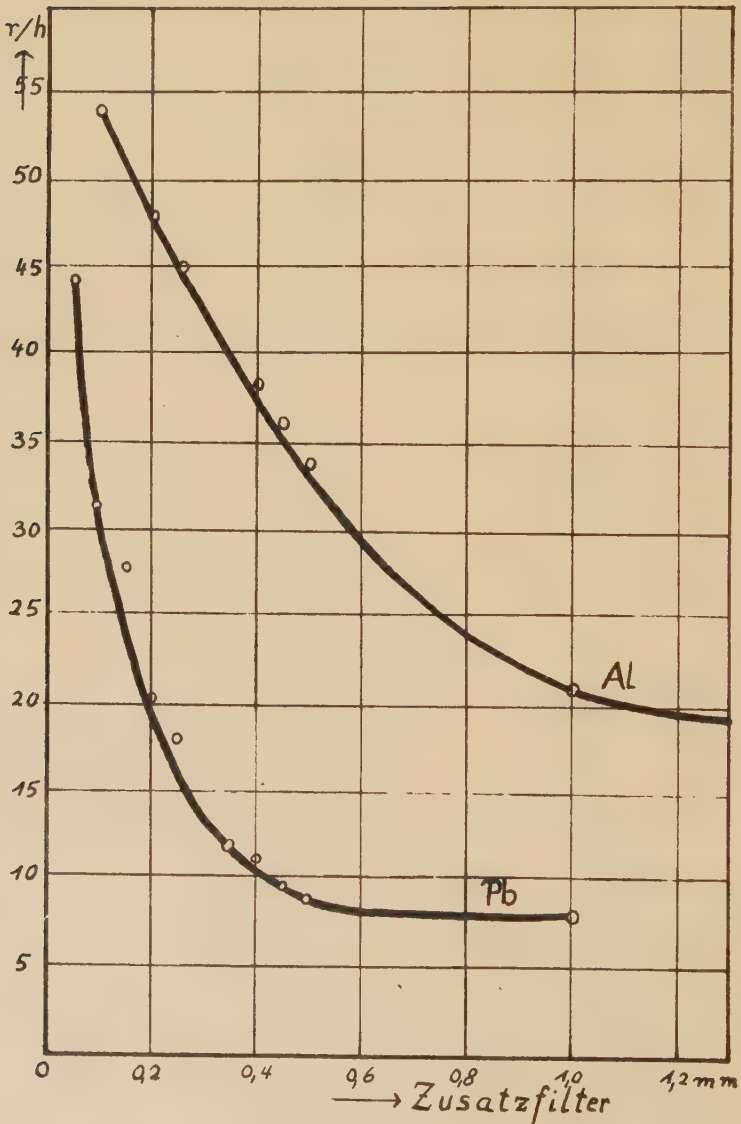
verlaufenden Kurvenabschnitte und Parallelverschiebung durch den Punkt "100 Å" ist es möglich, die Halbwertschichten der β -Strahlen zu ermitteln, falls die Strahlung monochromatisch wäre. Ebenso lassen sich die Halbwertschichten monochromatischer γ -Strahlen ablesen, indem man an die flach verlaufenden Abschnitte der Kurven Tangenten anlegt und diese parallel verschiebt. Diese Kurven veranschaulichen die extrem harten und weichen Strahlenanteile des Radiumpräparates. Nach diesen Messungen betragen die β -Anteile des Präparates annähernd 88% und die γ -Anteile 12%.

2. Dosisleistung des Radiumpräparates bei kleinen Filterungen:

Die Messungen hierfür wurden bei einem Abstand von 10 cm durchgeführt, die erhaltenen Werte aber auf 1 mg bei 1 cm Abstand umgerechnet.

Filterdicke in mm	Dosisleistung bei Al in r/h	Dosisleistung bei 10 in r/h
0,05		44
0,1	54	31
0,15	50	28
0,2	48	20
0,25	45	18
0,3	42	16
0,35	41	12
0,4	38	11
0,45	36	10
1,0	21	7,8

Abb VII: Dosisleistung des Radiumpräparates
bei kleinen Filterungen.



Die nach diesen Werten in Abb. VII verlaufenden Kurven zeigen ebenfalls die harten und weichen Strahlenanteile des untersuchten Radiumpräparates, aus welchen sich die prozentualen Anteile harter und weicher Strahlen errechnen lassen.

6. Bestrahlung von Filmen mit radioaktiven Isotopen:

Bei Strahlenschutzmessungen bereitete die Auswertung von Filmen, die mit radioaktiven Isotopen belichtet waren, stets Schwierigkeiten. Die angegebenen Dosen waren meist größer als die tatsächlichen. Daher wurde eine Reihe von Filmen auf ihre wellenlängenabhängigkeit bezüglich radioaktiver Isotope untersucht.

7. Bestrahlung von Filmen mit Kobalt Co_{60} (480 mCi).

Co_{60} ist bekanntlich ein γ -Strahler mit einer Energie von 1,3 MeV, welche einer monochromatischen Strahlung von 2,6 MeV gleichzusetzen ist. Bei diesen Versuchen wurde wiederum besonders darauf geachtet, daß keine Streustrahlen auftraten, die zu Fehlmessungen Anlaß geben konnten. Die Kassetten wurden dabei halbkreisförmig um das zylinderförmige Präparat auf dünnen Metallstiften befestigt.

Die entwickelten Filme zeigen auf allen vier Feldern nahezu gleichmäßige Schwärzungen.

Die Errechnung des Härtefaktors ergab bei Dosisfilmen 23, bei Radiumfilmen 36.

Die Auswertungsergebnisse der mit Co_{60} bestrahlten Filme beider Kassettentypen zeigten keine Unterschiede der Dosen und der Strahlenqualität.

b. Bestrahlung von Filmen mit Strontium Sr_{90} (15 mC).

Sr_{90} ist ein Betastrahler von 0,5 MeV Energie, das vorwiegend über das Yttrium Y_{90} , einem 2,2 MeV-Betastrahler wirksam wird (Wachsmann) (5).

Das Präparat war auf einer Metallscheibe aufgetragen und besaß einen Durchmesser von 16 mm.

Die Dosisleistung des Präparates wurde mit dem Siemens-Universaldosimeter in Verbindung mit der Phantomkammer bestimmt und betrug bei 1 cm Abstand 39,6 r/min.

Als Härtefaktor für Dosisfilme wurde 7,5, für Radiumfilme 12 ermittelt. In der Härtefaktorkurve in Abb. 1 liest man bei diesen Faktoren eine Spannung von 380 kV ab, was aber nicht der wahren, nämlich 2,2 MeV, entspricht. Da aber die Härtefaktorkurven mit γ - und Röntgenstrahlen aufgestellt wurden, ist es verständlich, daß die errechneten Faktoren für β -Strahler nicht ohne weiteres in diese Kurve eingesetzt werden können. Für die praktische Strahlenschutzmessung ist diese Diskrepanz jedoch von untergeordneter Bedeutung. Die Auswertungsergebnisse der Cu-Kassetten waren bei dieser Versuchsreihe genauer als die der Al-Cu-Pb-Kassetten, was durch die verschiedenen harten Strahlenanteile von Sr_{90} bedingt ist.

c. Bestrahlung von Filmen mit Cäsium Cs_{134} (10 mC, mit 0,2 mm Nickel vorgefiltert).

Cs_{134} ist ein β - und γ -Strahler. Zur Errechnung der Dosisleistung in r/h bei 1 cm Abstand muß die in mC angegebene Menge mit dem Faktor 3,6 multipliziert werden. Das ergibt eine Dosisleistung von 36 r/h. Die entwickelten Filme zeigen - ähnlich wie die

mit 15 MeV bestrahlten Filme - hinter dem 1,2 mm Cu- bzw. Pb-Filter stärkere Schwärzungen als die anderen Felder. Demnach sendet Cs_{134} äußerst harte γ -Strahlen aus. Als Härtefaktor für Dosisfilme wurde 31 und für Radiumfilme 40 gefunden.

Die Auswertungsergebnisse der Cu-Kassetten waren hierbei ebenfalls genauer als die der Al-Cu-Pb-Kassetten.

III. Zusammenfassung

1. Eine Auswertung von Filmen, die mit homogenen Strahlen belichtet wurden, ist bei Verwendung von Kassetten mit Al-Cu-Pb- (0,15 mm, 1,5 mm, 0,5 mm) wie mit Cu-(0,05 mm, 0,5 mm, 1,2 mm) Filtern möglich.
2. Gemische verschieden harter Strahlen lassen sich in Kassetten, die einheitliches Filtermaterial (0,05 mm, 0,5 mm, 1,2 mm Cu) enthalten, genauer auswerten.
3. Die untersuchten ADOX - "Radiumfilme" zeigten eine etwa 10 mal größere Empfindlichkeit gegenüber den ADOX-"Dosisfilmen", sowie eine etwas größere Wellenlängenabhängigkeit.
4. Verschiedene Dosismessgeräte zeigten bei vergleichenden Messungen unterschiedliche Wellenlängenabhängigkeit. Dabei erwies sich die Dosisanzeige des Siemens-Jontodors am geringsten, die des FH 40 H (Radiameter)mäßig und die des C.K.-Dosimeters am stärksten von der Strahlenhärte abhängig. Das C.K.-Dosimeter zeigte bei weicheren Strahlen als bei 60 kV eine besonders große Wellenlängenabhängigkeit.

5. Bei Halbwertschicht-Messungen an einem Radiumpräparat, das mit 0,2 mm Monell vorgefiltert war, betrugen die β -Anteile rund 88%, die γ -Anteile rund 12% der Gesamtstrahlung.

Bezüglich der gemessenen Halbwertschichten ergaben sich außer sehr weichen auch harte Strahlen von 500 kV über 1 MeV bis 2,8 MeV.

6. Zur Ergänzung der Härtefaktorkurven wurden Filme mit radioaktiven Isotopen (Kobalt Co_{60} , Strontium Sr_{90} , Zäsium Cs_{134}) bestrahlt.

IV. Schrifttumsverzeichnis

1. H. Langendorff,
G. Spiegler,
F. Wachsmann, Fortschr. Röntgenstr. ver-
einigt mit Röntgenpraxis
77/2 (1952): 144
2. H. Dresel Fortschr. Röntgenstr. u.
Nuklearmed. 84/2 (1956):
218
3. H. Dresel Fortschr. Röntgenstr. u.
Nuklearmed. 84/2 (1956):
221
4. W. Linder Radiumdosimetrie (1941):
50
5. F. Wachsmann Radioaktive Isotope
(1954):90

Herrn Prof. Dr. Norbert H e n n i n g möchte ich an dieser Stelle für die Übernahme des Referates sowie Herrn Dr. Felix W e c h s m a n n für die freundliche Überlassung des Themas, für die vielseitige Anregung und Unterstützung bei der Ausführung dieser Arbeit meinen ergebensten Dank aussprechen.

L e b e n s l a u f

Ich, Gisela F u c h s , wurde am 12. November 1929 in Breslau-Carlowitz als Tochter des damaligen Hauptmann Egon Fuchs und seiner Ehefrau Hildegard geboren.

Ich besuchte die Volksschulen in Dresden, Glauchau und Eger. 1940 fiel mein Vater als Generalmajor in Frankreich. Im gleichen Jahre trat ich in die Oberschule für Mädchen in Breslau ein. Durch die Kriegsereignisse mußten wir im Januar 1945 Breslau verlassen und flüchteten nach Berneck im Fichtelgebirge.

Ab April 1946 besuchte ich die Oberrealschule für Mädchen in Bayreuth und bestand 1950 die Reifeprüfung. Seit dem Wintersemester 1950/51 studierte ich an der Friedrich-Alexander-Universität in Erlangen Zahnmedizin und bestand 1951 die zahnärztliche Vorprüfung. Am 19. Oktober 1955 beendete ich mein Studium mit der zahnärztlichen Prüfung an der gleichen Universität. Seit dieser Zeit war ich mit der Abfassung meiner Doktorarbeit in der Medizinischen Klinik in Erlangen beschäftigt.

